خواص منطقه الاستیک

سه خاصیت وجود دارد:

۱- ضریب یانگ (E)

- **مقاومت ماده در برابر تغییر شکل الاستیک (معیار سفتی)**
- **ثابت تناسب فرمول هوک و برای تعیین ضریب، شیب قسمت خطی منطقه الاستیک (ابتدای منطقه الاستیک) مشخص می شود**

- **هر چه ضریب بزرگتر، ماده سفت تر یا به عبارتی تحت تنش معین، تغییر شکل الاستیک کمتری می دهد**

- **ضریب یانگ در مقیاس اتمی : مقاومت اتم های مجاور در مقابل جدا شدن از یکدیگر (یعنی نیروهای پیوند بین اتمی)**

1

- **هر چه انرژی پیوند بزرگتر ، ضریب یانگ بزرگتر**

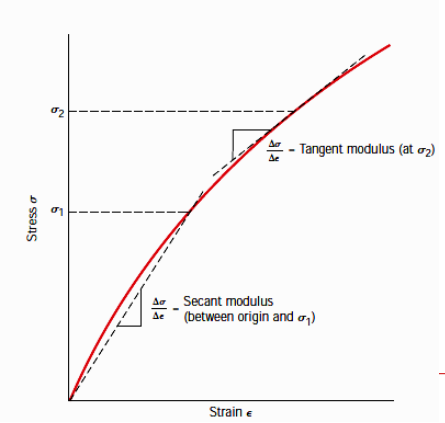
Bonding energy : ceramic> metal> polymer so
Young's modulus : ceramic> metal> polymer

- **با افزایش دما ، ضریب یانگ کاهش**

- **اگر ابتدای منطقه الاستیک، غیر خطی باشد (چدن خاکستری ، بتن و بسیاری از پلیمر ها) برای تعیین ضریب از الف- روش مدول مماسی یا ب- مدول وتری**

2

- الف- مدول مماسی: در تنش σ_2 بر منحنی مماس رسم کرده و شیب خط را گزارش می کنیم
- $E=\Delta\sigma/\Delta\varepsilon$
- ب- مدول وتری: نقطه معادل تنش σ_1 روی منحنی مشخص کرده ، بین این نقطه و مبدا یک وتر رسم کرده و شیب وتر را گزارش می کنیم



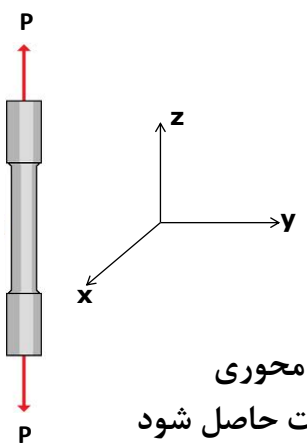
$E=\Delta\sigma/\Delta\varepsilon$

3

۲- نسبت پواسون (ν)

- عبارت است از منهای نسبت کرنش های جانبی به کرنش محوری (جهت اعمال نیرو= جهت محوری و بقیه جهت ها جانبی اند)

$$\upsilon = -\frac{\varepsilon_x}{\varepsilon_z} = -\frac{\varepsilon_y}{\varepsilon_z}$$



- برای هر ماده ای υ عدد ثابت و مثبتی
- چون علامت کرنش های جانبی خلاف کرنش محوری است با منفی در فرمول، باعث می شود υ مثبت حاصل شود

4

- کمترین مقدار υ برای مواد همسانگرد معادل 0.25
- برای فلزات υ در محدوده 0.25 تا 0.35
- بیشترین مقدار υ برای موادی که تغییر حجمی نمی دهد معادل 0.5

5

۳- ضریب برشی (G)

برای تعیین خواص برشی ماده باید آزمایش پیچش انجام داد و نمودار تنش برشی- کرنش برشی $\tau - \gamma$ رسم می شود

- در منطقه الاستیک ، رابطه تنش- کرنش خطی و رابطه زیر برقرار

$$\tau = G\gamma$$

- ضریب ثابت G را ضریب برشی می نامند و برابر شیب قسمت خطی منطقه الاستیک

$$G = \frac{\Delta\tau}{\Delta\gamma}$$

6

☐ رابطه بین ۳ ثابت منطقه الاستیک

$$E = 2G(1 + \nu)$$

☐ در اغلب فلزات

$$G \approx 0.4E$$

7

نکته

☐ مقادیر $\sigma_y, \sigma_u, E, G, \nu$ اعداد ثابتی و از مشخصات ذاتی ماده (در جدول گزارش شده)

☐ برای فلزات

$$\sigma_y = 35 \ to \ 400 \ MPa \ (35 \ for \ Al, 400 \ for \ high \ strength \ steels)$$

$$\sigma_u = 50 \ to \ 3000 \ MPa \ (50 \ Al, 3000 \ for \ high \ strength \ steels)$$

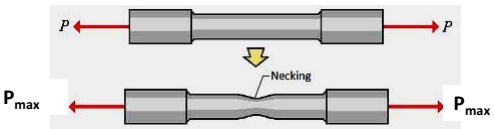
$$E = 45 \ to \ 407 \ GPa \ (45 \ for \ Mg, 407 \ for \ W)$$

* فولادهای پر استحکام یا استحکام بالا (high strength steels) ، فلز منیزیم (Mg)، فلز تنگستن (W)

8

گلویی (Necking)

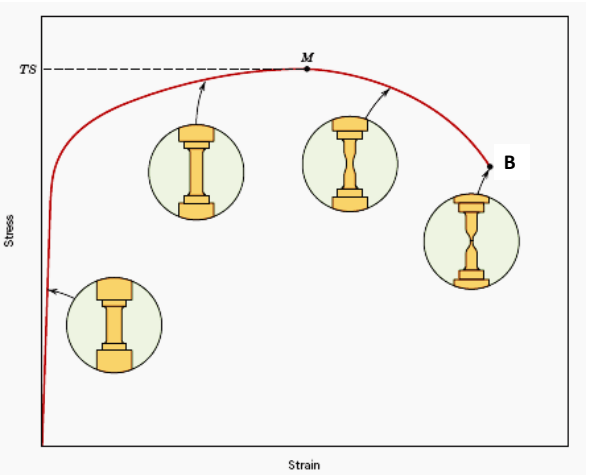
- در آزمایش کشش، زمانی که نیرو (P) یا تنش مهندسی ماکزیمم می شود در قسمتی از نمونه، در لبه های آن انحنا ظاهر می شود که به این منطقه گلویی گویند (مشاهده گلویی تنها در آزمایش کشش)



- با ظهور گلویی ادامه تغییر شکل فقط در این ناحیه اتفاق می افتد (موضعی شدن تغییر شکل) تا قطعه به شکست برسد.

ادامه تغییر شکل در گلویی (پیشرفت گلویی) با بزرگ شدن شعاع انحنا گلویی و کاهش سطح مقطع گلویی همراه است.

9



- با پدیدار شدن گلویی، مناطق خارج از گلویی، مقدار تغییر شکلی که تا نقطه ماکزیمم (M at σ-ε) بدست آورند حفظ می کنند اما بیشتر نمی شود

10

- با تشکیل گلویی، بعد از زمان کوتاهی ماده به شکست می رسد (به همین دلیل شکل دهی موفق فلزات فقط در محدوده y تا M)

تغییر شکل یکنواخت و غیر یکنواخت

نمونه را به اجزا یا المان های کوچک تقسیم بندی کنیم (مش بندی)

- تغییر شکل یکنواخت (Uniform deformation)

در این حالت تمام المان های ماده بطور مساوی و یکسان تغییر شکل می دهند و مجموع کرنش المان های جسم در هر زمان یک عدد از محور کرنش خواهد بود (مثلا در ثانیه ۱۰ اگر کرنش المان ها را با هم جمع کنیم، معادل کرنش در ثانیه ۱۰ از نمودار تنش- کرنش مهندسی خواهد بود)

11

در نمودار تنش- کرنش مهندسی آزمایش کشش، محدوده OM در وضعیت تغییر شکل یکنواخت

- تغییر شکل غیر یکنواخت (Non-uniform deformation)

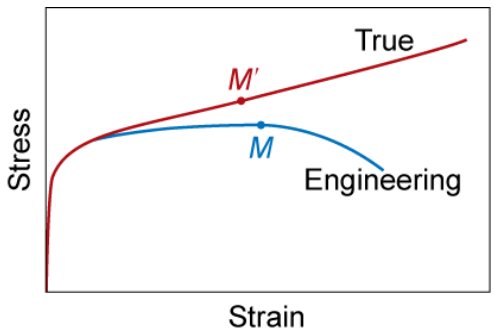
در این حالت تغییر شکل در قسمتی از ماده متمرکز می شود. مثلا با ظهور گلویی تغییر شکل غیر یکنواخت آغاز می شود.

در نمودار تنش- کرنش مهندسی آزمایش کشش، محدوده MB در وضعیت تغییر شکل غیر یکنواخت

12

مقایسه نمودار تنش- کرنش مهندسی و حقیقی آزمایش کشش

برای یک نمونه مشخص نمودارها به صورت زیر متفاوت می شوند (نقاط M, M' آغاز گلویی). دلیل این تفاوت آن است که



* ابتدا برای دستگاه کشش یک سرعت ثابت کشش تعریف می شود مثلا 1 mm/min ، و به معنای آن است که دستگاه طوری نیرو اعمال کند که ۲ فک دستگاه در ۱ دقیقه ، ۱میلی متر از هم فاصله بگیرند و یا سرعت تغییر شکل نمونه 1 mm/min باشد

در نمودار نیرو- تغییر طول یا تنش- کرنش مهندسی، اگر نقطه ماکزیمم و یک لحظه قبل را در نظر بگیریم، از لحاظ نیرو تفاوتی ندارند، اما یک لحظه

قبل نیرو روی کل نمونه باعث تغییر شکل می شود ولی در نقطه ماکزیمم این نیرو تنها در گلویی باعث ادامه تغییر شکل می شود. متمرکز شدن نیرو

روی یک قسمت کوچک ماده باعث تغییر شکل ناگهانی و زیاد آن (نسبت به مرحله قبل) می گردد، اما چون برای ماده سرعت ثابت کشش تعریف کردیم، دستگاه سریعا نیرو را کاهش می دهد

- در نمودار مهندسی از M به بعد کاهش نیرو را داریم و طبق رابطه

$$\sigma = F/A_0$$

تنش مهندسی سیر نزولی می یابد تا جایی که آنقدر سطح مقطع گلویی کم می شود که با کاهش نیرو تحمل نمی آورد و ماده می شکند

- در نمودار حقیقی از M' به بعد کاهش نیرو را داریم ، طبق رابطه

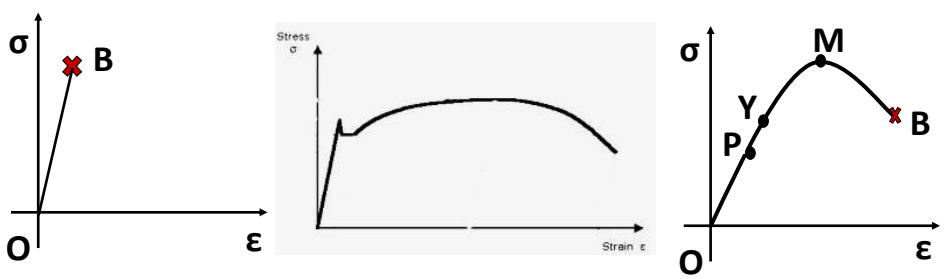
$$\sigma = F/A$$

اما چون کاهش سطح مقطع گلویی بیشتر از کاهش نیرو است تنش حقیقی دائما بزرگ می شود (سیر صعودی می یابد) تا زمانی که سطح مقطع گلویی آنقدر کوچک می شود که با کاهش نیرو نیز تحمل نمی آورد و نمونه می شکند

15

انواع نمودار تنش- کرنش مهندسی کششی فلزات

فلزات در کشش به یکی از ۳ صورت زیر دیده می شوند



(ج) (ب) (الف)

16

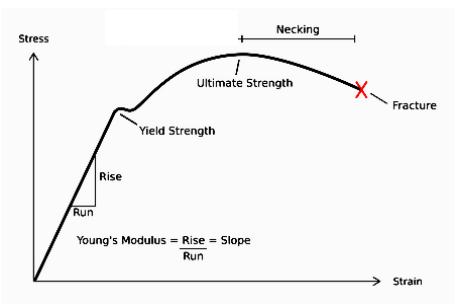
- الف- نمودار فلزات نرم: مانند فلزات غیر آهنی (آلومینیم، مس، طلا، تیتانیم ...)، این نمودار متداول اکثر فلزات
- ب- نمودار فلز نرم: فولاد کم کربن
- ج- نمودار فلز ترد: مانند چدن در کشش که فقط تغییر شکل الاستیک می دهد تا بشکند

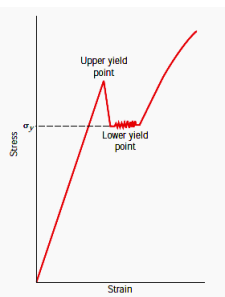
* فلزات نرم ابتدا تغییر شکل الاستیک و سپس پلاستیک می دهند تا بشکنند.

اگر نمودار فولاد کم کربن را دقیق تر بررسی کنیم

17

- در فولاد کم کربن، نمودار بطور خطی بالا می رود تا به نقطه تسلیم بالایی برسد. به نقطه تسلیم بالایی، نقطه تسلیم تیز هم می گویند. سپس نمودار افت می کند و بطور زیگزاگی پیش می رود که به قسمت زیگزاگی نقطه تسلیم پایینی می گویند. تنش معادل نقطه تسلیم پایینی را استحکام تسلیم می نامند. سپس نمودار با تشکیل ماکزیمم به شکست می رسد.





18

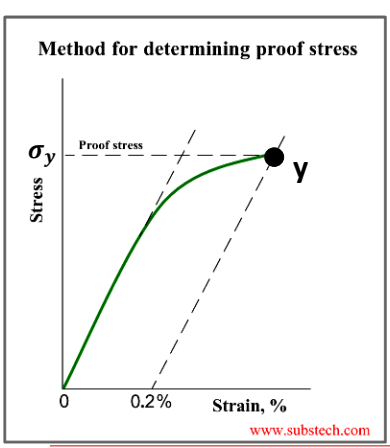
- نقطه تسلیم بالایی (Upper yield point) = نقطه تسلیم تیز (Sharp yield point)
- نقطه تسلیم پایینی(Lower yield point)

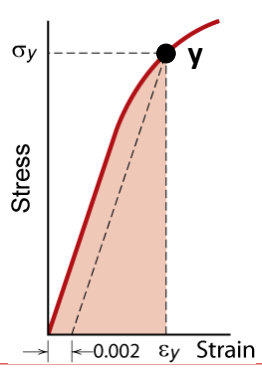
- برای فولاد کم کربن به راحتی می توان نقطه تسلیم و استحکام تسلیم را تعیین کرد ولی برای نمودار متداول فلزات برای تعیین y,σ_y باید از روش ۰/۲٪ تصویری استفاده کرد.

19

روش ۰/۲٪ تصویری (0.2% offset method)

روی محور کرنش عدد ۰/۰۰۲ را مشخص کرده و از آن خطی به موازات قسمت خطی منطقه الاستیک (ابتدای منطقه الاستیک یا OP) رسم می کنیم. محل تلاقی با منحنی نقطه تسلیم (y) و تنش معادل آن استحکام تسلیم (σ_y)





21